

CONFIGURACION FLEXIBLE DE UN REACTOR BIOLOGICO DE PELICULA FIJA PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA PRESENTE EN UN EFLUENTES LIQUIDO

Agustín Fernando Navarro*

Departamento de Ingeniería Química

(Universidad Nacional de La Plata)

Calle 48 y 115 - 1900 La Plata - Argentina

E-mail: anavarro@ing.unlp.edu.ar

Resumen. En este trabajo se realiza el análisis de un sistema de tratamiento biológico de película fija operando alternativamente con dos soportes diferentes. El reactor en estudio fue construido en laboratorio a escala piloto, con posibilidad de modificar su configuración. Para el primer caso el material soporte utilizado es carbón activado con un diámetro medio de 1,5 mm ocupando en condición de lecho fijo un 38% del total de la columna líquida, valor que aumenta a medida que el mismo se expande. En el segundo caso la columna opera con soporte de partículas de polipropileno de 3 mm de diámetro, en condiciones similares al anterior pero con poca posibilidad de expansión. En ambos casos se determinaron eficiencias de degradación de la materia orgánica contenida en el efluente a tratar y también los límites de carga orgánica y caudal dentro de los cuales el sistema puede operar en forma estable. La corriente de aireación se incorporó alternativamente dentro de la columna y dentro de la pileta donde se recibe la corriente de reciclo. La corriente de alimentación y el reciclo siempre ingresan por la parte inferior de la columna. Se operó con caudales de alimentación comprendidos entre 20 mL/min y 150 mL/min y reciclos entre 2000 mL/min y 4800 mL/min. Las cargas orgánicas de ingreso variaron entre 72 mg/L y 466 mg/L. Las eficiencias obtenidas según los

* A quien debe enviarse toda la correspondencia

distintos ensayos estuvieron entre 41% y 89%. Siempre se logran las mejores remociones con bajos caudales y las cargas más altas ensayadas.

Palabras clave: Efluentes Líquidos, Lechos Fluidizados, Materia Orgánica, Tratamiento Biológico.

1. Introducción

Los efluentes líquidos provenientes de descargas urbanas e industriales que presentan una determinada carga orgánica medida a través de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) o Demanda Química de Oxígeno (DQO) deben ser tratados para permitir su vuelco a los cuerpos de agua superficial cumpliendo con los estándares de calidad correspondientes. Existen diversos métodos de tratamiento o depuración que permiten disminuir notablemente la DBO o DQO final del efluente. Entre los procedimientos mas tradicionales están los sistemas de barros activados (biomasa en suspensión) y por otro lado los biodiscos, lechos percoladores y fluidizados (biomasa en películas fija o asistida). En este último caso se utiliza un lecho granular de partículas acondicionadas dentro de una columna que tiene incorporados en su parte inferior entradas de efluente a tratar y reciclo, y en su parte superior salida del efluente tratado. Si las partículas son más densas que el medio, caso de arena, carbón activado, etc., los caudales de alimentación y reciclo tienen que ser tales que atraviesen y sustenten el lecho de partículas promoviendo su fluidización y la degradación de la materia orgánica a través de los microorganismos adosados a la superficie de las partículas. Otra alternativa es la incorporación de partículas menos densas que el medio de tratamiento como polipropileno, poliestireno, etc. La inyección de aire u oxígeno es imprescindible para lograr una buena aireación del sistema, se puede incorporar en las corrientes de ingreso o dentro del propio lecho. A la salida del efluente tratado se suele colocar un tanque de sedimentación o clarificación del mismo.

Normalmente a los reactores de lecho fluidizado que utilizan, carbón activado como soporte, se los conoce como reactores GAC (Granular Activated Carbon) basados en BFB (Biological Fluidized Bed). Se utilizan tanto para el tratamiento de aguas y efluentes líquidos, como también para la eliminación de hidrocarburos presentes en aguas subterráneas contaminadas, caso de tanques enterrados. En este tipo de sistemas

se puede trabajar a una muy alta concentración de biomasa por la gran superficie del medio soporte, logrando de este modo buena reducción de la materia orgánica. Las partículas más comunes utilizadas en la práctica son arena, arcilla, carbón, carbón activado en general de pequeña granulometría para favorecer su sustentación por medio del efluente.

En el caso de utilizar soporte de baja densidad se habla de Biorreactores de Lecho Fluidizado de Flujo Inverso (IFBR). Presentan aplicaciones en procesos bioquímicos, de alimentos, petroquímicos, ambientales, etc. Tienen la ventaja de un menor consumo de energía ya que trabajan con bajas velocidades de fluidización y presentan también menor abrasión. Asimismo se puede controlar fácilmente la expansión del lecho, a diferencia de los sistemas convencionales de carbón activado. Sin embargo poseen la desventaja de que el gas puede generar turbulencias y arrastrar la biopelícula depositada en las partículas, disminuyendo por lo tanto la eficiencia del tratamiento.

Es importante en ambos sistemas mantener un nivel de biomasa constante por lo que el excedente de la misma debe ser eliminado de alguna forma. En el caso de lechos fluidizados con partículas de alta densidad esto se puede hacer, ya sea permitiendo el roce entre partículas y partículas y/o paredes del recipiente favoreciendo el desprendimiento del exceso, o rebose continuo/periódico de las partículas fuera del lecho y hacia un dispositivo donde la biomasa se separa de las mismas y éstas son incorporadas nuevamente al sistema, con generación de barro. Cuando se trabaja con soporte de baja densidad la manera de eliminar el exceso de biomasa es a través de una expansión del lecho que permita la separación de soporte que flota y biomasa que sedimenta, la que luego es purgada desde la parte inferior de la columna.

2. Objetivos

Se trata de realizar un análisis global de un sistema de tratamiento biológico de un efluente líquido que contiene una determinada carga orgánica, cuando el mismo se carga con partículas de carbón activado como medio soporte y con partículas de polipropileno y variando la forma de inyección de aire. Dicho análisis implica determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica operando de una u otra forma bajo condiciones de carga aproximadamente similares. También se evalúan los distintos

valores que toman las variables operativas y las dificultades encontradas durante los ensayos.

3. Metodología empleada

El reactor utilizado para llevar a cabo las experiencias fue construido en laboratorio. Básicamente consta de una columna de acrílico (10 cm de diámetro por 1,10 m de altura), con una salida lateral en la parte superior de 2,5 cm de diámetro destinada al reciclo. La misma está ubicada a 10 cm del borde superior de la columna. Una pileta colectora (base de 15 cm por 15 cm y altura de 20 cm) de la corriente lateral, contiene una salida en la parte superior para descarga del efluente tratado y otra en la base para el reciclo.

El material soporte utilizado en el primer caso es carbón activado de una dada distribución de tamaño de partícula y con un diámetro equivalente medio de 1,5 mm, incorporado en la columna hasta alcanzar una altura de lecho fijo de 30 cm. De esta forma se mantiene un volumen considerable por encima del lecho de partículas, ocupado con la masa de líquido tratada, que permite trabajar con distintas velocidades de líquido y por ende distintas expansiones del lecho, debidas al crecimiento de la biomasa adherida al medio soporte.

En el segundo caso el soporte está constituido por pequeñas esferas de 3 mm de diámetro de polipropileno. El mismo está contenido entre dos mallas, actuando como topes inferior y superior, de acero inoxidable ubicadas a una distancia entre sí de 40 cm. Las esferas se cargaron en la columna de modo tal de ocupar una altura en la misma de 30 cm en condición de lecho fijo, similar al primer caso. En la Figura 1 se pueden ver las dos configuraciones, la primera con carbón activado y la segunda con polipropileno.

En ambos casos, para mantener condiciones aeróbicas dentro del reactor se ha incorporado un burbujeador de aire en la pileta lateral (opción A), alternativamente cuando se opera con el soporte de baja densidad se lo ha incorporado dentro de la columna por la base de la misma (opción B). Para la opción A con carbón activado y B con polipropileno se obtiene una operación con fluidización del medio soporte por medio del reciclo en el primer caso y del aire en el segundo, para la opción A con polipropileno se tiene una operación con lecho fijo de partícula. En todos los casos la

alimentación ingresa al reactor por medio de una bomba peristáltica proveniente de un tanque de almacenamiento de 1000 litros de capacidad, para el reciclo se utiliza una bomba regenerativa.

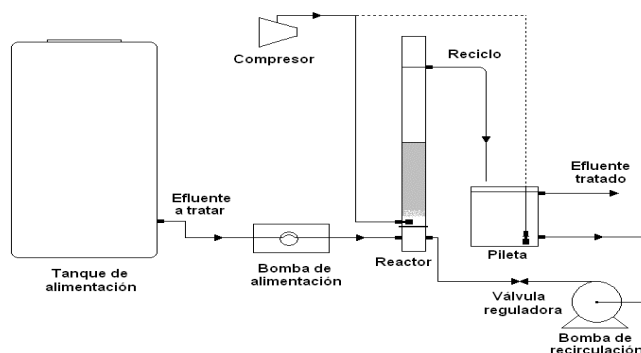


Fig. 1. Sistema de Tratamiento con las distintas alternativas de Operación

4. Ensayos realizados

Como se expresó anteriormente, las diferentes experiencias se efectuaron con caudales de alimentación y cargas orgánicas de ingreso aproximadamente similares. El efluente consistió, en todos los casos, en una solución acuosa de un sustituto lácteo, agregado en una concentración tal que permitiera obtener los diferentes valores de DQO de entrada ensayados. A continuación se resumen las experiencias realizadas con ambos soportes. En la Tabla 1 se pueden ver los distintos ensayos realizados, los parámetros medidos y calculados.

4.1. Sistema operando con Carbón Activado.

En el inicio de la operación se mantuvieron condiciones de mínima fluidización (altura de lecho de 37 cm) para favorecer el desarrollo de microorganismos adosados al medio soporte y con caudal de recirculación exclusivamente. Luego de aproximadamente cuatro semanas se observó crecimiento bacteriano visible. A partir de este momento se realizaron ensayos con caudales de alimentación comprendidos entre 20 mL/min y 150 mL/min y concentraciones de carga orgánica variando desde 74 mg/L y hasta 310 mg/L. En condición de operación normal el caudal de reciclo mantuvo

siempre valores comprendidos entre 2520 mL/min y 4800 mL/min correspondiente a velocidades de fluidización de 0,53 cm/s y 1,02 cm/s, proporcionando una altura de lecho fluidizado entre 40 cm y 70 cm. El pH se mantuvo neutro y el oxígeno disuelto tomó en el tope de la columna un valor medio de 3,3 mg/L. Debido al crecimiento de la biomasa sobre el medio soporte se debió disminuir diariamente la velocidad de fluidización para mantener la operación estable. Adicionalmente se realizaron purgas semanales del exceso de biomasa y parada total de planta, con lavado completo del sistema al final de cada serie de experiencias. Adicionalmente se efectuaron otros ensayos (no incluidos en la Tabla 1) con caudales mayores y cargas orgánicas de 300 mg/L y el lecho rápidamente se tornó inoperable.

4.2. Sistema operando con Polipropileno.

Se operó inicialmente con distintas combinaciones de caudales de reciclo y de ingreso de aire, de forma tal de mantener una fluidización estable del lecho y una buena concentración de oxígeno disuelto. Se realizaron ensayos con caudales de alimentación comprendidos entre 20 mL/min y 60 mL/min y carga orgánica entre 106 mg/L y 466 mg/L. El caudal de reciclo se mantuvo entre 2000 mL/min y 3750 mL/min, lo cual indica una velocidad superficial de paso del líquido entre 0,42 cm/s y 0,80 cm/s. Para el caudal de aire se trabajó con dos valores límites, el mínimo de 0,38 L/min y un máximo de 0,75 L/min. En este caso tardó una semana el desarrollo bacteriano, el mismo se realizó en un tanque externo agitado y aireado, con posterior siembra en la columna. El tiempo total de operación entre inicio y saturación completa del lecho se mantuvo entre una y dos semanas aproximadamente. Los primeros ensayos fueron realizados con caudales de 60 mL/min y carga orgánica de ingreso de 106 mg/L y 358 mg/L obteniendo eficiencias comprendidas entre 41% y 66%. Posteriormente, por incompatibilidad de las corrientes fluidas en su ingreso a la base de la columna (aumento de presión) se cambió la configuración inicial y se incorporó la corriente de aire en el interior de la pileta. A partir de aquí se hicieron nuevos ensayos con caudales entre 20 mL/min y 60 mL/min y carga orgánica de ingreso mínima de 194 mg/L y máxima de 466 mg/L. El caudal de reciclo se ajustó según el crecimiento bacteriano, el

pH se mantuvo neutro y el oxígeno disuelto tuvo en el tope de la columna un valor medio de 5 mg/L.

Tabla 1. Ensayos realizados, variables operativas y eficiencias

q	DQOe	DQOs	T	Odp	Odt	Lf	qr	vf	θ_1	θ_2	η
20	118	32	42	7.5	2.4	43	4000	0.85	168,8	0,84	73
20	278	31	42	5.6	3.8	41	2800	0.59	161,0	1,14	89
40	99	33	36	12	6.0	40	3400	0.72	78,5	0,91	67
40	295	38	43	7.0	2.0	45	2520	0.53	88,3	1,38	87
60	79	31	46	8.0	5.0	46	2840	0.6	60,2	1,24	61
60	274	36	36	4.5	2.0	58	4400	0.93	75,9	1,02	87
80	74	31	34	6.0	4.6	43	4800	1.02	42,2	0,70	58
80	240	65	31	4.0	2.3	70	4600	0.98	68,7	1,17	73
100	72	32	36	7.0	5.3	48	3560	0.76	37,7	1,03	56
100	310	78	38	3.2	0.6	58	3880	0.82	45,5	1,14	75
150	82	45	24	6.1	2.3	41	3100	0.66	21,5	0,99	45
60	112	64	25.0	---	4.8	30	3750	0.80	39,3	0,62	43
60	106	63	18.4	---	5.8	30	2310	0.49	39,3	0,99	41
60	118	68	19.4	---	3.2	30	2640	0.56	39,3	0,87	42
60	358	121	22.0	---	5.8	30	3420	0.73	39,3	0,68	66
20	466	76	19.7	9.0	4.3	30	2000	0.42	117,8	1,17	84
40	194	76	19.6	7.2	5.4	30	2000	0.42	58,9	1,15	61
60	242	109	18.4	12	3.2	30	2220	0.47	39,3	1,03	55
25	280	79	22	12.4	8.2	30	2700	0.57	94,2	0,86	72

Las variables corresponden a q: Causal (mL/min), DQOe: Demanda Química de Oxígeno en la entrada (mg/L), DQOs: ídem de salida, T: temperatura (°C), Odp: Oxígeno disuelto en pileta (mg/L), Odt: ídem en tope de la columna, qr: Caudal de Reciclo (mL/min), Lf: Longitud de lecho fluidizado (cm), vf: Velocidad de Fluidización o Superficial de la fase líquida (cm/s), θ_1 : tiempo de residencia en el sistema (min), θ_2 : tiempo de residencia en el lecho (min), η : Rendimiento (%).

La determinación de Demanda Química de Oxígeno se efectuó mediante equipo marca Hach consistente en reactor termostático DBR 200 y analizador colorimétrico DR/800.

5. Relación entre Variables y Eficiencias.

Las figuras a continuación muestran la variación de los principales parámetros de operación en función de la eficiencia de remoción obtenida. En la primera de todas ellas aparecen las experiencias con carbón activado (CA) y en la segunda las

correspondientes a polipropileno (PP). En las Figuras 5 y 6 se observa que con cargas orgánicas de ingreso (COI) medias se obtienen las mejores eficiencias (COI corresponde al producto: caudal de alimentación por la DQO de entrada).

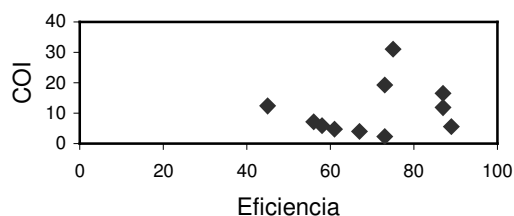


Fig. 5. COI vs. η (CA)

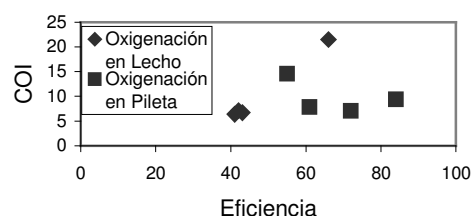


Fig. 6. COI vs. η (PP)

En las Figuras 7 y 8 se observa que no existe una correlación definida del oxígeno disuelto medido en el tope del lecho en función de la eficiencia.

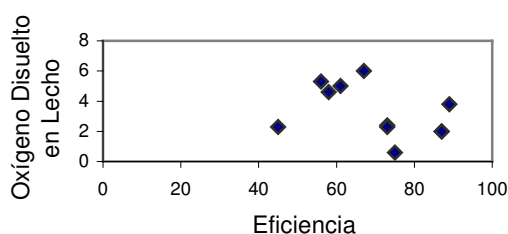


Fig.7. Odt vs. η (CA)

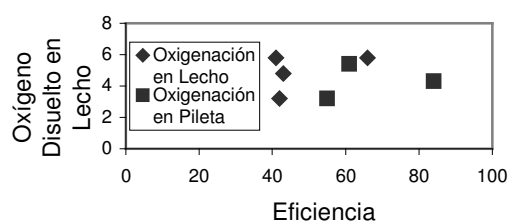


Fig.8. Odt vs. η (PP)

En las dos últimas Figuras 9 y 10, se ve que el tiempo de residencia influye notablemente en las distintas eficiencias obtenidas para la remoción de la materia orgánica presente en el efluente a tratar.

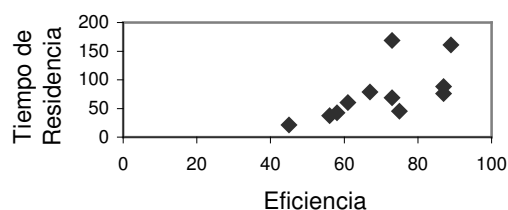


Fig. 9. θ_1 vs. η (CA)

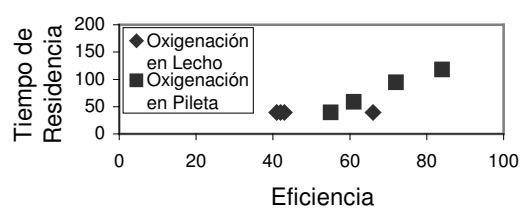


Fig. 10. θ_1 vs. η (PP)

5. Aspectos Operativos.

Para el caso de utilizar carbón activado como medio soporte. Las primeras experiencias fueron exploratorias tendientes a determinar límites inferior y superior de caudales y cargas orgánicas que podían ser tratados, compatibles con las características constructivas del modelo. Siempre se comprobó la concentración de oxígeno disuelto en la pileta y tope de la columna. Esto fue necesario porque al iniciar la operación se detectaron zonas anaeróbicas dentro del lecho, lo cual obligó a aumentar el caudal de aire que ingresa al sistema. Es de hacer notar que a medida que avanza el crecimiento bacteriano sobre el medio soporte, la biopartícula resultante se torna menos densa lo que lleva a una expansión del lecho y por ende obliga a disminuir la velocidad de fluidización, a su vez los ciclos de purga para eliminar el excedente de biomasa también aumentan. La temperatura ambiente presenta efectos marcados sobre el sistema, valores bajos de la misma compactan el lecho evitando su fluidización y altos valores favorecen el crecimiento bacteriano.

Para el caso de utilizar polipropileno como medio soporte. El valor inicial del reciclo fue compatible con la operación de la bomba de reciclo y caudal de aire del burbujeador. Posteriormente se ajustó a valores mayores debido al fuerte crecimiento bacteriano en el lecho que generó una mayor pérdida de carga respecto a la situación inicial. Sin embargo, para nuestro sistema, cuando el reciclo aumenta entra en incompatibilidad con la corriente de aire del burbujeador ya que la salida de éste no vence la presión existente en el fondo de la columna. Al cortarse el ingreso de aire se genera en la parte inferior del lecho, una zona de aspecto anaeróbico. Cuando avanza el crecimiento bacteriano el lecho se vuelve inoperable, lo cual obliga a detener la operación y realizar un arrastre del exceso de biomasa. En la operación normal, no se observa un movimiento importante de las partículas durante la fluidización, las burbujas de aire lo atraviesan por distintos canales internos. Por el inconveniente señalado al comienzo sobre incompatibilidad de corrientes se utilizó la alternativa de incorporar el aire dentro de la pileta, logrando también una buena aireación en la columna.

5. Conclusiones.

Se observa que trabajando con soporte de carbón activado y aireando de manera externa al lecho, se han logrado eficiencias cercanas al 90%. Mediante este sistema se pudo acotar la zona de trabajo del reactor en cuanto a caudal de alimentación y carga orgánica asociada que garantizara la mejor eficiencia de remoción de la materia orgánica. La desventaja que presenta es que existe una rápida expansión del lecho, por un fuerte crecimiento bacteriano, que imposibilita en unos días continuar con su operación normal. Para el caso del segundo soporte (polipropileno) y aireando dentro y fuera del lecho, la zona de trabajo resulta ser la misma que en el caso anterior. Se han logrado eficiencias de remoción de materia orgánica de 84%. Para la configuración con el oxígeno dentro de la columna se opera normalmente durante los primeros días, luego el sistema se torna inoperable por la pérdida de carga que ofrece al paso de las corrientes el crecimiento bacteriano adosado al medio soporte. Las eficiencias encontradas en esta etapa fueron las más bajas del total. Cuando se opera con la corriente de aire dentro de la pileta, similar a lo que se hizo con carbón activado, se lograron los mejores rendimientos manteniendo del mismo modo una buena oxigenación del lecho. Trabajar con polipropileno tiene la ventaja de que al estar el medio soporte acotado por dos toques no hay expansión del lecho y la corriente de reciclo puede ser ajustada al valor deseado en contraposición con lo que ocurre utilizando carbón activado.

Reconocimientos.

Al Ing. Luis A. Palladino por su apoyo en tareas de laboratorio.

Referencias.

- Navarro A. F., Palladino L. A. (2009). Degradación de Efluentes Líquidos mediante Lechos Fluidizados. Información Tecnológica, 20 (5), 13-18.
- Nicolella, C., Van Loosdrecht M. C. M., Heaney J.J. (2000). Wastewater Treatment with Particulate Bio film Reactor. Journal of Biotechnology, 80, 1-33.

- Rajasimman M., Karthikeyan C.(2007). Aerobic Digestion of Starch Wastewater in a Fluidized Bed Bioreactor with Low Density Biomass Support. *Journal of Hazardous Materials*, 143 (82- 86).
- Rajasimman M., Karthikeyan C. (2009). Optimization studies in an Inverse Fluidized Bed Bioreactor for Starch Wastewater Treatment. *Int. J. Environ. Res.*, 3 (4), 569-574.
- Sarrouh, B. F, Converti A, Da Silva S. S. (2008). Evaluation of Hydrodynamic Parameters of a Fluidized Bed Reactor with Immobilized Yeast. *J Chem. Technol. Biotechnol*, 83 (576- 580).
- Shieh, W. K., Sutton P. M., Kos P. (1981). Predicting Reactor Biomass Concentration in a Fluidized Bed System. *Journal WPCF*, 53 (11), 1574 – 1684.
- Sutton, P. M., Mishra P. N. (1994). Activated Carbon Based Biological Fluidized Beds for Contaminated Water and Wastewater Treatment. A State-of-Art Review. *Water Science and Technology*, 29 (10-11), 309 – 317.
- Wang X. C., Yuan H. L.; Liu J., Jin P. K. (2007). Fluidized Pellet Bed Bioreactor; a Promising Technology for Onsite Wastewater Treatment and Reuse. *Water Science and Technology*, 55 (59- 67).
- Włodzimierz Sokół, B., Alemayehu Ambawb, Bela, Woldeyes. (2009). Biological wastewater treatment in the inverse fluidised bed reactor. *Chemical Engineering Journal*, 150, 63–68.
- Yang W. C. (2003). *Handbook of Fluidization and Fluid Particle System*. Ed. by. CRC Press. N.Y.